

PENGHALUSAN BUTIR FASA MAGNETIK SmCo_5 DENGAN *VIBRATION BALL MILL* UNTUK PEMBUATAN KRISTAL BERSKALA NANOMETER

E. Handoko¹ dan A. Manaf²

¹Jurusan Fisika FMIPA - UNJ

Jl. Pemuda No.10 Rawamangun, Jakarta 13220

²Departemen Fisika, FMIPA - UI

Kampus UI Depok 16424

ABSTRAK

PENGHALUSAN BUTIR FASA MAGNETIK SmCo_5 DENGAN *VIBRATION BALL MILL* UNTUK PEMBUATAN KRISTAL BERSKALA NANOMETER. Telah dilakukan proses penghalusan material magnet SmCo_5 dengan *Vibration Ball Mill* menghasilkan serbuk berukuran nanometer. Ukuran serbuk awal yang digunakan adalah 50 μm sampai dengan 60 μm terdiri dari material fasa tunggal SmCo_5 sebagai material dasar untuk magnet permanen. Perbandingan antara massa serbuk dan massa bola adalah 1 : 10 dan proses penghalusan dilaksanakan dalam atmosfer miskin oksigen. Ditemukan bahwa serbuk halus hasil proses sangat reaktif sehingga preparasi material ke dalam bentuk padatan muda (*green compact*) harus dilakukan dalam ruangan atmosfer argon. Berdasarkan hasil pengukuran kristal dengan analisis pelebaran puncak difraksi sinar-x diperoleh suatu penurunan ukuran kristal yang sangat signifikan dan sistematik dengan bertambahnya waktu penghalusan. Pada waktu penghalusan selama 20 jam diperoleh ukuran kristal rata-rata ~6,0 nm. Pola difraksi dari sampel magnet menggunakan serbuk sangat halus ini meskipun telah menjalani tahapan perlakuan panas masih tetap memperlihatkan fasa tunggal SmCo_5 . Dengan demikian proses penghalusan dan preparasi yang telah dilakukan pada penelitian ini dapat digunakan untuk pembuatan magnet permanen Sm-Co dengan ukuran kristal berskala nanometer.

Kata kunci : Penghalusan, nano kristalin, SmCo_5 , *vibration ball mill*, magnet permanen

ABSTRACT

GRAIN REFINEMENT OF SmCo_5 MAGNETIC PHASE WITH NANO-SCALE CRYSTALS BY A *VIBRATION BALL MILL* Grain refining process for production of SmCo_5 powder materials with nano size has successfully done by means of vibration ball milling. Initial size of feedstock which identified as single phase SmCo_5 materials was 50-60 μm which usually used for fabrication of permanent magnets. The ratio between weight of powders and balls was 1:10 and the refining processes were carried out in an inert atmosphere. It was found that the very fine powders resulted from processing route very reactive and therefore the preparation towards green compact sample should be carried out in an argon atmosphere. Furthermore, the average crystallite size as evaluated by line broadening analysis of x-ray diffraction peaks for the phase was reduced progressively with longer milling times. The size of as low as ~ 6.0 nm was found in the sample experienced refining for 20 hrs. In spite of heat treatments that applied to the fine powders, XRD trace of materials remain indicating a single phase SmCo_5 material. It is concluded that the overall steps in the preparation may be applied for the preparation of SmCo_5 nanocrystalline permanent magnets.

Key words : Refinement, nanocrystalline, SmCo_5 , vibration ball mill, permanent magnets

PENDAHULUAN

Pengembangan material magnet permanen yang berbasis logam tanah jarang (*rare earth*) dan logam transisi (*metal transition*) untuk mencapai sifat kemagnetan yang lebih tinggi terus dilakukan oleh banyak peneliti bahan magnet. Pembentukan struktur berukuran nanometer telah menjadi fokus dalam pengembangan material magnet untuk mencapai nilai optimal serta memberikan peluang sebagai bahan magnet kelas baru yang lebih unggul [1-3]

Baru-baru ini, metode pemaduan mekanik (*mechanical alloying*) dengan *High-Energy Ball Mill* dan pengerasan secara cepat (*rapid solidification*) *melt spinning*, telah diterapkan dalam mensintesis magnet permanen yang memiliki struktur berukuran nanometer [4-5]. Magnet permanen yang memiliki struktur berskala nanometer merupakan fenomena dalam pengembangan bahan magnet untuk mendapatkan paduan (*alloy*) magnet dengan

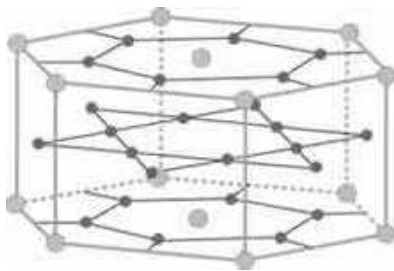
komposisi baru yang memiliki sifat kemagnetan yang lebih unggul.

Salah satu cara untuk meningkatkan sifat kemagnetan yang optimal dapat dilakukan dengan membuat magnet komposit dengan struktur nanometer yang terdiri dari campuran dua fasa magnet keras dan magnet lunak. Sebagai contoh untuk mencapai peningkatan remanen dan koersivitas yang signifikan dari magnet keras berbasis $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ diperlukan ukuran butir rata-rata fasa utama kurang dari 20 nm [3] dan fraksi volume dari magnet lunak sampai dengan 40%. Penambahan Zr juga dapat meningkatkan produk energi maksimum (BHmax) untuk dua fasa nano komposit $(\text{Nd,Dy,Zr})_2(\text{Fe,Co,Zr})_{14}\text{B}/\text{Fe}$ [6,7]. Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Z.Wang, et.al.[8] untuk magnet $(\text{Nd,Dy})_2(\text{Fe,Nb})_{14}\text{B}/\text{Fe}$ memberikan nilai remanen 1,02 T, koersivitas intrinsik 702 kA m⁻¹ dan produk energi maksimum (BHmax) sebesar 134 kJ m⁻³. Di samping itu hasil penelitian yang telah dilakukan untuk paduan magnet $(\text{SmCo}_5)_{1-x}\text{Fe}_x$ dengan ukuran butir 10 nm sampai dengan 20 nm serta perlakuan panas pada 873 K terjadi peningkatan remanen secara signifikan dengan meningkatnya Fe serta menurunnya nilai koersivitas. Produk energi maksimum juga dicapai sebesar 105,8 kJ m⁻³ untuk $(\text{SmCo}_5)_{75}\text{Fe}_{25}$.

Dalam penelitian ini akan dilakukan proses penghalusan serbuk magnet SmCo_5 untuk mendapatkan ukuran kristal berskala nanometer sebagai tahap awal dalam pembuatan magnet permanen berstruktur nanometer dan juga memberikan alternatif dalam proses sintesis magnet permanen berstruktur nanometer untuk pengembangan penelitian bahan magnet yang akan datang.

TEORI

Paduan logam tanah jarang (*rare earth alloys*) adalah grup campuran intermetalik yang terdiri dari satu atau lebih logam transisi 3d (T) dengan elemen-elemen grup tanah jarang (R). Kemagnetan dari paduan tersebut adalah hasil dari interaksi (*coupling*) antara momen-momen magnet T dan R. *Alloy* biner dari tanah jarang secara umum mempunyai bentuk R_2T_{17} , RT_5 atau R_2T_7 . Dimana R dapat dimungkinkan dari unsur-unsur tanah jarang seperti Ce, Pr, Nd, Sm, dan Y. Paduan SmCo_5 sejauh ini lebih baik dari kemungkinan yang lainnya.



Gambar 1. Bentuk struktur fasa SmCo_5 berupa heksagonal.

Pada Gambar 1. menunjukkan struktur heksagonal dari SmCo_5 dan tipe CaCu_5 . SmCo_5 ditemukan dengan mempunyai sumbu mudah yang kuat dari anisotropi magnetik dan meningkatkan sifat-sifat kemagnetannya. Medan magnet sumbu banyak (*uniaxial*) HA antara 250 MA.m⁻¹ sampai dengan 440 MA.m⁻¹ sedangkan nilai konstanta anisotropi K1 antara 11 MJ.m⁻³ sampai dengan 20 MJ.m⁻³. Magnetisasi jenuh untuk fasa SmCo_5 adalah 1,14 T dan memberikan nilai optimal dari energi maksimum (BHmax) 259 KJ.m⁻³. Perhitungan densitas kristal 8,591 g.cm⁻³ yang bersesuaian dengan hasil pengukuran yaitu 8,580 g.cm⁻³. Suhu *curie* memiliki nilai yang tinggi yaitu mendekati 700 °C[9].

METODE PERCOBAAN

Metode penghalusan partikel berukuran nanometer dalam penelitian ini adalah metode mekanik dengan menggunakan *Vibration Ball Mill* (VBM) yang memiliki ukuran vial diameter 120 mm dan tinggi 40 mm dan memiliki bola baja yang sudah dikeraskan (*hardened steel ball*) sebanyak 10 bola dengan berat masing-masing 28 g serta diameter 12 mm sebagaimana terlihat pada Gambar 2. Serbuk awal SmCo_5 dengan ukuran partikel 50 m sampai dengan 60 m disiapkan dengan perbandingan berat 1 : 10 terhadap berat total bola dan kemudian dilakukan proses penghalusan dalam suasana bebas oksida (*inert*) selama 0 jam; 7 jam; 14 jam; dan 20 jam.



Gambar 2. Vial dan bola baja yang digunakan untuk proses penggerusan dalam suasana *inert* dengan menggunakan VBM.

Proses preparasi serbuk hasil penghalusan dalam suasana miskin oksigen (*inert*) terus dipertahankan sampai dengan proses pengukuran Hasil pengukuran dengan XRD dan SEM dilakukan untuk menganalisis struktur dan melihat bentuk serta ukuran butiran (*grain*).

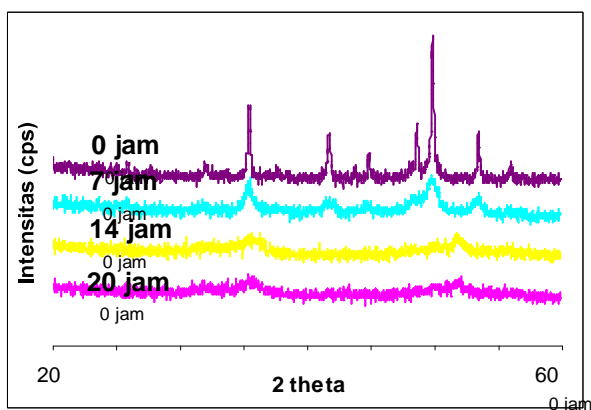
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penghalusan serbuk magnet SmCo_5 dengan VBM dengan waktu 0 jam; 7 jam; 14 jam; dan 20 jam dilakukan pengukuran dengan XRD. Hasil pengukuran XRD (Gambar 2 dan Gambar 5) dilakukan dengan sudut 2 θ antara 20° sampai dengan 60° dan didapatkan bentuk

pola yang berbeda untuk setiap variasi waktu penghalusan.

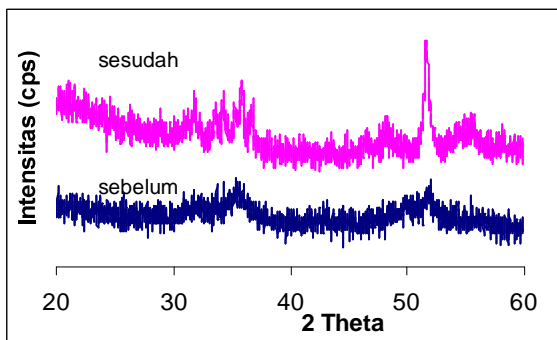
Pada Gambar 2 terlihat bahwa terjadi penurunan intensitas dan pelebaran puncak intensitas pada grafik *XRD* untuk waktu penghalusan yang semakin lama. Hal ini menandakan proses penghalusan telah terjadi dengan semakin kecilnya ukuran serbuk. Penggerusan dengan *VBM* cukup efektif untuk membuat partikel dari serbuk magnet SmCo_5 menjadi ukuran partikel kristal yang jauh lebih kecil dari ukuran serbuk semula yaitu 50 m sampai dengan 60 m. Proses secara mekanik yang terjadi pada saat penghalusan berupa gerak bola yang digetarkan oleh motor dengan putaran yang cukup tinggi mengakibatkan terjadinya benturan bola dengan bola dan bola dengan *vial* sehingga penghalusan serbuk kristal magnet terjadi.

Identifikasi fasa yang dilakukan terhadap semua data *XRD* dilakukan dengan menggunakan perbandingan data literatur pada *ICDD*. Fasa SmCo_5 teridentifikasi secara dominan sebagai fasa mayoritas dan $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ sebagai fasa minoritas.



Gambar 3. Grafik hasil pengukuran dengan *XRD* untuk serbuk dengan variasi waktu penggerusan 0 jam; 7 jam; 14 jam; 20 jam.

Fasa oksida yang diprediksi berupa Sm_2O_3 tidak ditemukan. Ini menjelaskan bahwa proses penghalusan dan preparasi serbuk dalam suasana miskin oksigen dapat menjaga serbuk magnet yang reaktif terhadap oksida bebas dari terbentuknya oksida.

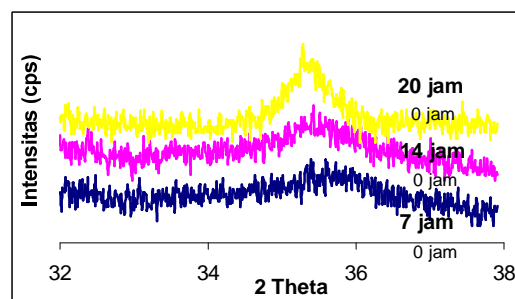


Gambar 4. Grafik pengukuran *XRD* sebelum dan sesudah perlakuan panas untuk serbuk hasil penggerusan selama 20 jam

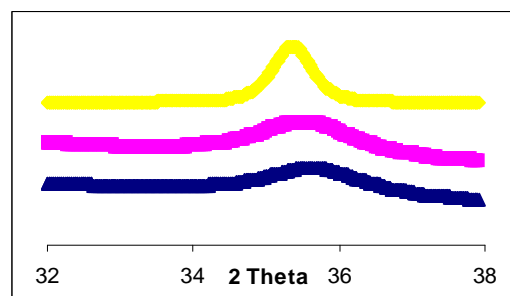
Kristalisasi dilakukan dengan memberikan perlakuan panas sampai dengan suhu dimana fasa SmCo_5 dapat dipertahankan yakni 1150 °C selama 40 menit suasana *inert* dan didinginkan cepat dalam air.

Dari perlakuan panas yang dilakukan telah berhasil mengembalikan fasa SmCo_5 sebagai fasa mayoritas sebagaimana terlihat pada Gambar 4. Hasil identifikasi fasa tidak terlihat fasa oksida. Ini membuktikan bahwa proses perlakuan panas berlangsung dalam suasana *inert*.

Proses *fitting* data *XRD* pada interval sudut 32° sampai dengan 38° dari puncak SmCo_5 dilakukan dengan menggunakan program APD Phillips dari hasil pengambilan data *XRD* dengan metode *point counting* seperti terlihat pada Gambar 5.



(a)



(b)

Gambar 5. (a). Data *XRD* yang dihasilkan dengan metode *point counting*. (b). Hasil *fitting*.

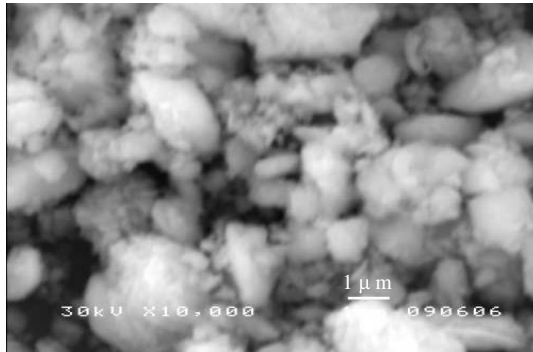
Perhitungan ukuran partikel kristal rata-rata dilakukan dengan metode analisis pelebaran puncak difraksi sinar-x diperoleh suatu penurunan ukuran kristal yang sangat signifikan dan sistematik dengan bertambahnya waktu penghalusan. Analisis pelebaran puncak difraksi sinar-x yang dilakukan pada interval sudut 32° sampai dengan 38° (Gambar 5) yang teridentifikasi sebagai fasa SmCo_5 (lihat Tabel 1)

Tabel 1. Hasil perhitungan ukuran partikel kristal rata-rata.

| No | Sampel | Waktu Penghalusan (jam) | Ukuran partikel kristal rata-rata (nm) |
|----|-----------------|-------------------------|--|
| 1 | SmCo_5 | 7 | 16,0 |
| 2 | SmCo_5 | 14 | 7,0 |
| 3 | SmCo_5 | 20 | 6,0 |

Hasil perhitungan ukuran rata-rata partikel kristal SmCo_5 diperoleh untuk variasi waktu penghalusan yang berbeda untuk data XRD pada Gambar 5, yaitu 16,0 nm untuk waktu penggerusan 7 jam, 7,0 nm untuk 14 jam, dan 6,0 nm untuk waktu penggerusan 20 jam.

Ukuran rata-rata partikel kristal yang telah dicapai sampai pada skala nanometer ini dapat dikonfirmasi dengan hasil SEM untuk serbuk yang telah dilakukan penggerusan selama 20 jam sebagaimana terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil foto mikro dengan SEM serbuk kristal SmCo_5 dengan waktu penghalusan 20 jam.

Dari foto mikro yang diperoleh dengan SEM dapat terlihat bahwa serbuk kristal magnet SmCo_5 telah mencapai ukuran nanometer. Partikel mengalami penggumpalan dimana partikel-partikel kristal magnet merekat satu dengan yang lain sehingga membentuk seperti partikel baru yang berukuran rata-rata kurang dari 1 μm .

KESIMPULAN

Hasil penghalusan pada serbuk material magnet SmCo_5 yang memiliki ukuran awal 50 μm sampai dengan 60 μm dengan menggunakan *Vibration Ball Mill* (VBM) telah terjadi proses mekanik sehingga serbuk magnet mengalami reduksi pada ukuran partikel sampai pada skala nanometer dengan ukuran rata-rata serbuk kristal 6,0 nm untuk waktu penghalusan 20 jam. Selama proses penghalusan kondisi bebas oksida dapat dipertahankan sehingga serbuk tidak mengalami proses oksidasi. Hasil fotomikro dengan SEM memperlihatkan bahwa serbuk kristal yang berukuran rata-rata skala nanometer mengalami penggumpalan membentuk partikel-partikel yang berukuran kurang dari 1 μm . Perlakuan panas pada 1150°C selama 40 menit suasana *inert* dan didinginkan cepat dalam air, fasa SmCo_5 dapat dipertahankan dan bebas dari fasa oksida. Hasil ini sangat memungkinkan untuk dikembangkan sintesis material magnet permanen yang memiliki struktur berskala nanometer.

DAFTARACUAN

- [1]. E.F. KNELLER, R. HAWIG, *IEEE Trans. Magn.*, **27** (1991) 3588
- [2]. R. SKOMSKI, *J. Appl. Phys.* **76** (1994) 7059
- [3]. T. SCHREFL, J. FIDLER, H. KRONMULLER, *Phys. Rev. B*, (49) (1994) 6100
- [4]. J. DING, P.G. MCCORMICK, R. STREET, *J. Magn. Mater.*, **135** (1994) 200
- [5]. P.A.I. SMITH, P.G. MCCORMICK, R. STREET, *Mater. Sci. Forum*, **527** (1995) 179-181
- [6]. M. JURCZYK, S.J. COLLOCOTT, J.B. DUNLOP, P.B. GWAN, *J. Phys. D* (29) (1996) 2284
- [7]. T. YONEYAMA, H. NAKAMURA, K. ANAN, A. NISHIUCHI, A. FUKUNO, *IEEE Trans. Magn.*, **26** (1990) 1963
- [8]. Z. WANG, M. ZHANG, F. LI, S. ZHOU, R. WANG, W. GONG, *J. Appl. Phys.*, **81** (1997) 5097
- [9]. J. STRNAT, *Ferromagnetic Materials*, **4** Ed. E.P. WOHLFARTH and K.H. BUSCHOW, North Holland, Amsterdam, (1988) 131-209